

# モンモリロナイト系粘土の物理化学的および 工学的特性に及ぼすカリウム固定の影響

富田 武満\*

## The Effect of Potassium Fixation on Physico-Chemical and Engineering Properties of Montmorillonite

Takemitsu Tomita

(Faculty of Engineering, Fukuyama University)

### ABSTRACT

Cation-fixation in soil occurs when exchangeable or water-soluble cation in soil are converted into the form that cannot be readily extracted with a solution of neutral salt. That is, exchangeable ions are changed to the nonreplaciable state.

Potassium ions are known to be the primary one involved in such a reaction. In the field of pedology, the study of K-fixation has been performed actively, but from the viewpoint of soil mechanics, especially soil stabilization, it has been hardly done. The present study was undertaken to clarify the physico-chemical change of clay minerals and the change of the engineering properties due to K-fixation.

From the results of X-ray diffraction and differential analysis, it was found that K-fixed soil has the structure similar to illitic clay. The engineering properties of montmorillonite is also stabilized. It is considered that this stabilization is due to the formation of aggregate of clay caused by the de-

---

\*土木工学科

crease in potential energy between clay particles and by the fixation of K ions between the internal layers of clay.

## 1 緒 言

### 1.1 概 説

わが国は地質が非常に複雑であるとともに、ある時代の岩種および風化生成物は非常に固結度が高い、その代表的なものとして第三紀の泥岩、頁岩が挙げられる。これらの風化したものは、水にあうと、吸水・膨張し、その強度が著しく低下するとともに、膨張圧を周辺に与え、トンネルの施工のみならず、一般土工事においても種々の問題をひき起している。これらはすべて、風化泥岩、頁岩の二次構成鉱物であるモンモリロナイト粘土鉱物の含有による。

モンモリロナイトは水を吸収することによって、結晶格子が膨潤する性質を有していることと、粒径が非常に小さいことから、表面活性が大であり、工学的材料として極めて不利な特性がある。そこで著者はモンモリロナイトの粘土構造に着目してその土質安定工法として、カリウム固定を提案してきた。

土におけるカオチンの固定とは、置換性あるいは水溶性のカオチンが中性の塩溶液で抽出されたとしても置換・抽出されない形になることをいう。この反応に関係するカオチンとしては一般にカリウムイオンとアンモニウムイオンが挙げられる。とくにカリイオンについては、土壌の三大肥料として施肥され、固定されたカリ肥料をいかに有効に利用するかで、土壌学の分野では古くから研究されてきた。工学的あるいは土質安定の立場からはカリイオンを如何に強固にまた多量にモンモリロナイトに固定させるかが研究の主体となろう。

モンモリロナイトのカリ-固定<sup>(2)</sup>(以後K-固定と示す)を鉱物学的にみると、モンモリロナイトのイライトに近い構造への変化に要約できる。図-1にモンモリロナイトとイライトの模式構造を示しているが、その違いは前者の場合、2:1層間に数分子の水が、後者の場合、Kイオンが存在する。上記のようなイライトとモン

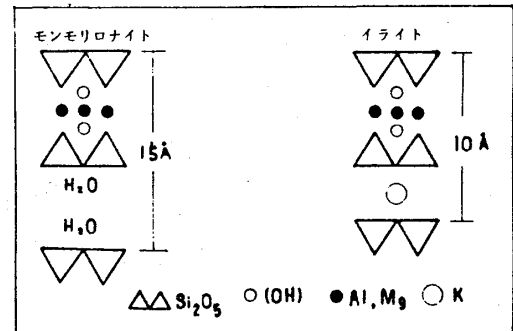


図-1 モンモリロナイトとイライトの模式構造

モリロナイトの構造の類似性をもとにして、モンモリロナイト含有土のK-固定の特性を軟弱地盤の改良、地すべり粘土の改良など、土質安定の立場から利用するものである。

### 1.2 K-固定に関する過去の研究

K-固定については、K肥料の有効利用という観点から、ほとんど土壌学の分野でしか行われていない。この分野の最も先駆的な研究はVolk<sup>(3)(4)</sup>のものである。彼は次の事実を明らかにした。(1)この反応においては、土の乾燥が非常に重要である。(2)粘土分の量も重要だが、粘土の特性がさらに重要である。なぜなら、大量の粘土分が存在していたとしてもカオリナイト系あるいはラテライト系の土はK-固定を示さないからである。(3)土を塩酸で処理すると、固定能力は減少するが、炭酸ナトリウムあるいは消石灰で処理するとその能力は増大する。(4)加えられたKの量が増大すればするほど、乾燥による固定量は増大するが、固定パーセンテージは減少する。

Chaminade<sup>(5)</sup>は固定を土の交換能力と関係づけた。すなわち、最大K-固定は土の交換能力の4%以上がKイオンによって占められると起る。

Truog とJones<sup>(6)</sup>およびKolodny<sup>(7)</sup>はそれぞれ、K-飽和粘土が湿潤と乾燥を受けたとき、あるいはK<sup>+</sup>がベントナイト試料に加えられたとき、

固定K量とベントナイト試料の交換能力の減少とに関係が存在することをみつけた。

特別なカオチンのみが固定反応に関与するという特殊性解明の手がかりはPageとBaver<sup>(8)</sup>の研究によって明らかになった。彼らはWyomingベントナイトとMiamiシルト質ロームのコロイドでカオチンの固定を研究し、カオチン固定と非水和イオン径を関係づけた(図-2参照)。

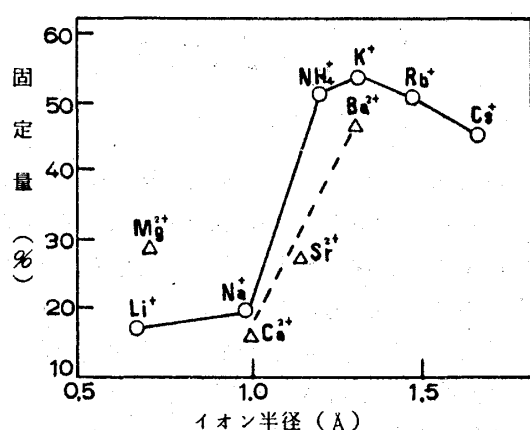


図-2 カチオン固定とイオン半径

図から明らかなようにK<sup>+</sup>だけでなくNH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Rb<sup>+</sup>, Cs<sup>+</sup>およびBa<sup>2+</sup>もまた固定される。彼らは固定の機構を「格子一孔」理論として示した。この概要は次のようである。

- (1) 2:1型膨潤格子の層間の露出面は一連の六角形に配列した酸素イオンからなっており、その六角形状の孔の直径は2.8 Åある。
- (2) 粘土は脱水されるにつれて、層間が収縮し、イオンは配向水分子殻を失い、非水和イオン径に近くなる。これらの直径はそれぞれLi<sup>+</sup>=1.20 Å, Na<sup>+</sup>=1.90 Å, K<sup>+</sup>=2.66 Å, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>=2.96 Å, Rb<sup>+</sup>=2.96 Å, Cs<sup>+</sup>=3.38 Å, Mg<sup>2+</sup>=1.30 Å, Ca<sup>2+</sup>=1.98 Å, Ba<sup>2+</sup>=2.70 Åである。
- (3) イオン径と「孔」の大きさのほぼ等しいものは層間に固く保持されることになる。この層間の結合力は、層間のロック作用と同時に、電気的な結合力の増大による。イオン径が「孔」よりも大きなカオチンは層内よりも層間にゆるく保持されたままであり、再水和により他のカオチンと交換されやすい。「孔」

に完全に入ってしまう小さな径のカオチンは上下・両層に接触できず、2層間の結合は不十分になる。

以上のように、K-固定に関する研究は土壌学の分野で活発に行われてきたが、その根本的な目的は、モンモリロナイト系の粘土に固定されたKを肥料として有効に利用するためのものである。一方、工学的には、モンモリロナイトに多量にK<sup>+</sup>を固定することができれば、モンモリロナイトの膨潤性が改良され、極めて有効な安定工法となり得る。

## 2. K-固定に及ぼす各種の因子

### 2.1 含水状態

K-固定には含水状態が鋭敏に作用する。最初にK-固定の研究を行なったVolk<sup>(3)(4)</sup>は、時日の経過と共に置換性Kの多くは非置換性あるいは固定状態に変るが、これは乾燥状態にしなければほとんど起らず、湿潤・乾燥を繰り返すとこの作用が促進されると報告している。しかし、Stanford<sup>(9)</sup>の実験では、湿潤状態であっても、イライトは固定するが、モンモリロナイトではほとんど固定しないと報告している。Deturk, Wood, Bray<sup>(10)</sup>らの実験では、湿潤状態でも固定が起り、6ヶ月~1年で見かけの平衡に達する。さらに、Martin, Overstreet, Hoagland<sup>(11)</sup>等の研究では、乾湿を繰り返すと固定量は著しく増し、そのうちで第一回の乾燥で最大の固定を示すが、湿潤状態でも多少の固定は起るので、乾燥が固定にとって不可欠の条件とは言いがたい。

### 2.2 水素イオン濃度

K<sup>+</sup>が強固な結合のカリ-アルミナ珪酸塩となって固定される際に、水素イオンは離脱する。したがってK-固定と水素イオン濃度とはある程度関係があると推測できる。以下に筆者の行った実験でその関係を示す。

#### 2.2.1 試料の作成と実験方法

試料粘土はすべて市販のベントナイトを用いた。粘土のK処理には0.2 N塩化カリウム(KCl)溶液を用い、添加量および水素イオン濃度(PH)を変え処理した。

添加量は1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 150ccに、PHはHCl, NaOHで調整を行ない、PH=1.5, 4, 5.5(未調整) 8, 11.5の試料

を作成した。つぎに、ベントナイトを正確に5g秤量し、これに上記の0.2NKClを加え、気乾した40個の試料の遊離Kイオン量、吸着Kイオン量および固定Kイオン量の定量を行なった。

ここで、遊離Kイオン量とは、間げき水中に遊離しているKイオン量を、吸着Kイオン量は試料粘土に吸着しており、他のカチオンを含む塩類で抽出すると置換されるKイオン量を、また、固定Kイオン量は、残ったKイオン量を示している。それぞれの定量方法は次のようである。K添加気乾試料5gを蒸溜水でよく洗浄した三角ろ斗に入れ、これにアルコールと蒸溜水の混合液のろ液が約300ccとなるまで抽出した液中のKイオン量が遊離Kイオン量、さらに酢酸アンモニウム( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ )1N溶液でろ液が約300ccとなるまで抽出した液中のKイオン量が吸着Kイオン量になる。固定Kイオン量は、添加したKイオン量から遊離と吸着Kイオン量を差し引いたものである。なお、それぞれのKイオン濃度は、島津製MAF型原子吸光分光光度計を用いて測定した。

### 2.2.2 実験結果と考察

実験結果は図-3、図-4に示されている。図から明らかなように、K添加量の増大に伴ない、K吸着量とK固定量の増大がみられる。し

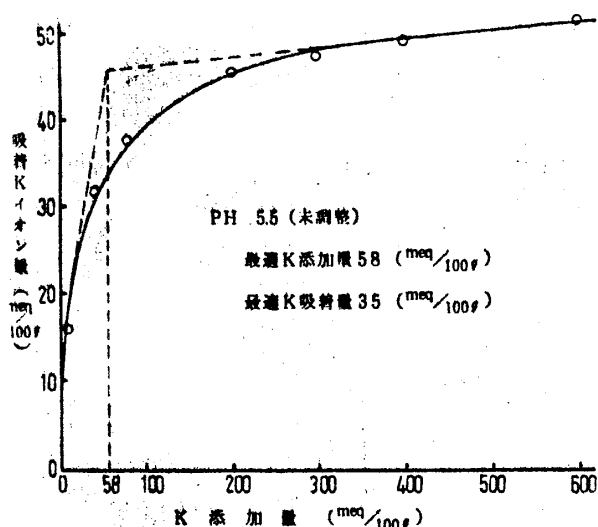


図-3 K添加量と吸着Kイオン量

かし、K添加量がある限度をこえると、増加曲線は横ばい状態になる。Kの粘土への吸着および固定の増加率(K添加量に対する増加率)はKの添加量の増大と共に徐々に減少する傾向が

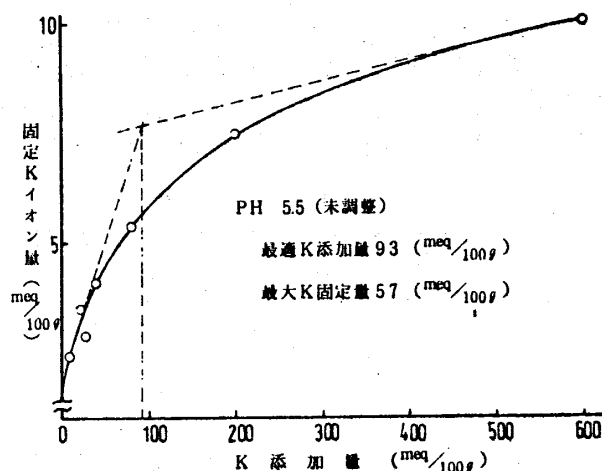


図-4 K添加量と固定Kイオン量

みられる。したがって、K添加量の増大に伴ない、吸着量および固定量の増大率はある限界値を越えると急速に減少することを示しており、この添加量が最も効率の良い添加量、いわゆる最適K添加量と言える。理論上、粘土の有する塩基置換容量を境界として、それを越えるような添加量では、添加量に対する固定量の比率は減少する。一方、置換容量に満たない添加量では、固定量の比率は増大すると推測できる。すなわち、置換容量と等しい添加量で、最も効率のよい固定が得られることになる。このことは、図-3の実験データと極めて良好な一致を示している。

最適K添加量を求めたのが表-1である。

表-1 PHと最大K吸着量,最大K固定量および最適K添加量 (meq/100g)

PH	最大K吸着量	最適K添加量	最大K固定量	最適K添加量
11.5	4.2	6.9	6.7	8.9
8	4.5	8.6	6.2	8.8
5.5	3.5	5.8	5.7	9.3
4	4.1	7.1	5.0	7.5
1.5	1.6	3.4	3.6	6.7

最適K添加量は吸着量と固定量によって異なり、吸着の場合はやや少なく、固定量に対しては若干多くなる。しかし、使用したモンモリロナイトの塩基置換容量にはほぼ等しいKの添加量が最適K添加量となっている。

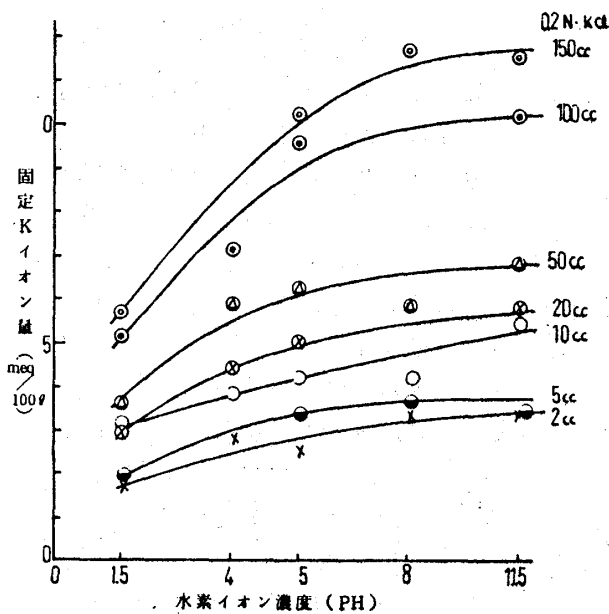


図-5 水素イオン濃度と固定Kイオン量との関係

PH による影響は図-5 により、PH=11.5, 8, 5.5, 4, 1.5 の順にK固定量が増大する。すなわち、アルカリ側でK処理すると試料の固定能力の増大がみられる。一方、酸性側で処理した場合、 $H^+$  量が大になり、交換複合体への $H^+$  と $K^+$  の平衡関係が成立し、それぞれの濃度に応じた侵入におちつき、吸着量、固定量ともに減ずるものと考えられる。また、アルカリ側でのNaOHの影響は、 $Na^+$  が水和するとイオン径が非常に大きくなり、層間を拡げる作用が大となり、 $K^+$  の交換複合体への侵入が容易になり、 $K^+$  の吸着量と固定量が増大するものと考えられる。

### 3.3 塩基の影響

吸収あるいは添加された陽イオンの固定力はそのイオンの置換力あるいはコロイドに対する親和力によって変る。Kの固定力も同様で、既存の吸着カチオンが影響する。Wiklander<sup>(12)</sup> の実験によると、雲母粘土を21日間65~70℃でHCl, NaCl,  $NH_4Cl$ ,  $CaCl_2$  で処理すると、固定されたKは放出されて、粘土は他のカチオンで飽和された。これに、またKを加えると、H,  $NH_4$  で前処理されたものは固定量小さく、Caでは大で、Naで処理したものは固定量が著しく大になったと報告している。筆者は塩基の

影響を考察するにあたって、土質安定上、効果の著しいと考えられる消石灰( $Ca(OH)_2$ )との併用を行なった。

#### 3.3.1 試料の作成と実験方法

ベントナイトに水酸化カルシウムを加え、正確に5gをとる。水酸化カルシウムは重量比で、1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10%と変えて添加し、つぎに、それぞれの試料に0.2N KCl溶液を20cc加え、気乾させる。この気乾試料を前節と同様の方法で、遊離Kイオン量、吸着Kイオン量、固定Kイオン量の測定を行なった。

#### 3.3.2 実験結果と考察

結果は図-6, 7, 8のようになった。遊離Kイオンに対するCa量の影響は、Ca量の増大に伴ない遊離Kイオン量が増大する。これは試

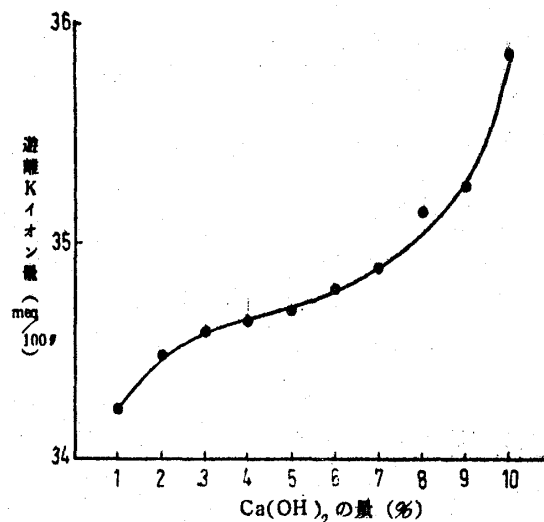


図-6 Ca量と遊離Kイオン

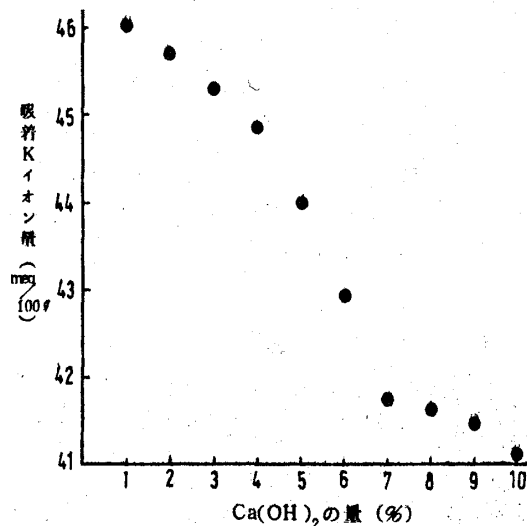


図-7 Caと吸着Kイオン

料中の $\text{Ca}^{++}$ 濃度との平衡関係にもとづいて、吸着しきれない $\text{K}^+$ が遊離された状態で間隙中に存在するものと考えられる。このことは図-6でもよく示されており、 $\text{Ca}^{++}$ 量の増大に伴ない、吸着 $\text{K}^+$ 量はほぼ直線的に減少している。

固定 $\text{K}^+$ 量は $\text{Ca}^{++}$ の増大に伴ない多くなるが、 $\text{Ca}^{++}$ 量が7%以上になると、漸減の傾向が見られる。 $\text{Ca}^{++}$ は $\text{K}^-$ 固定を促進させる機能を有してはいるが、吸着 $\text{K}^+$ 量のところでも明ら

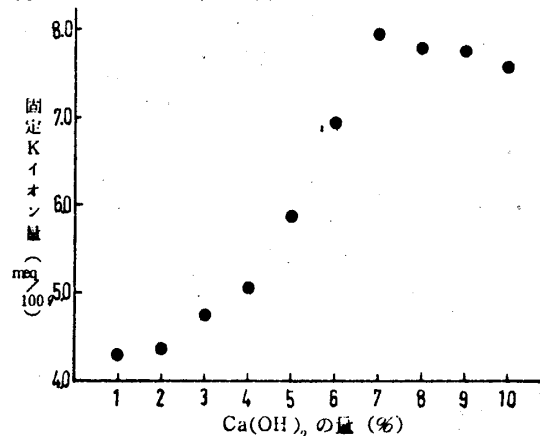


図-8 Caと固定Kイオン量

かなように、粘土の交換複合体に侵入することのできる $\text{K}^+$ 量は $\text{Ca}^{++}$ の存在により規制される。したがって、その増大の程度は、 $\text{Ca}^{++}$ と $\text{K}^+$ 濃度の平衡関係に大きく左右される。 $\text{Ca}^{++}$ が $\text{K}^-$ 固定を増大させる原因として次のように考えられる。溶液中のイオンは水分子をひきつける。各イオンの水分子をひきつける力は、イオンの電荷( $z$ )に比例し、半径( $r$ )に反比例する。したがって、 $\text{Ca}^{++}$ と $\text{K}^+$ を比較した場合、 $\text{K}^+$ のイオンポテンシャル( $z/r$ )は0.75、 $\text{Ca}^{++}$ は1.9と $\text{Ca}^{++}$ の方が大きい。イオンポテンシャルが大ということは、より多くの水分子をひきつける能力があり、それだけ粘土鉱物の層間を拡げることになり、 $\text{K}^+$ が層間に近づき易くなる。したがって、粘土が乾燥されるにつれて、水分子がとばされ、 $\text{K}^+$ の固定がより促進されることになる。

### 3.4 アニオンの影響

アニオンの種類も $\text{K}^-$ 固定に影響する。Deturk<sup>(10)</sup>によると、 $\text{KCl}$ として加えられた場合、 $\text{K}^-$ 固定力は最も弱く、 $\text{K}_2\text{SO}_4$ として加えると、非常に良く固定をする。このことは筆者の実験でもうらづけられた。すなわち $\text{K}_2\text{SO}_4$

$> \text{K}_2\text{CO}_3 > \text{KCl}$ の順に固定量が増大した。

## 4. K-固定による物理化学的特性の変化

### 4.1 K-固定量とC.E.C. (塩基置換容量)

#### 4.1.1 試料の作成と実験方法

試料の作成は前章と同様に、添加量および $\text{pH}$ の異なる40個の試料を準備した。C.E.C.の定量は上記資料より2gを正確に測り、蒸溜水でよく洗浄した三角ろ斗に入れ、これに $\text{CaCl}_2$  1規定溶液をろ液が約250ccになるまで流す。つぎに遊離している過剰の $\text{Ca}^{++}$ をアルコールおよび蒸溜水で十分洗浄する。さらに吸着した $\text{Ca}^{++}$ を置換・抽出するために、酢酸アンモニウム( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) 1規定溶液を、ろ液が約300ccになるまで加え、抽出液の量と液中の $\text{Ca}^{++}$ 濃度を正確に測定し、粘土100g当りのミリグラム当量で表わしたのがC.E.C.の値である。

#### 4.1.2 測定結果と考察

測定結果は図-9、10に示している。図-9は $\text{K}$ 添加量とC.E.C.の関係をプロットしたものであるが、C.E.C.は $\text{K}$ 添加量の増大に伴い減少する傾向がある。しかし、その減少傾向も未処理モンモリロナイトのC.E.C.である100 meq/100g ( $\text{KCl}$ で20cc)を越えると頭打ちになる。また、 $\text{pH}$ によってC.E.C.の値が異なるのは、弱酸で処理したもの( $\text{pH}=5.5$ )は<sup>(13)</sup>試料を被覆している不純物、主として鉄およびアルミニウムの水酸化物を除去したことによる。 $\text{pH}$ の影響も $\text{K}$ 添加量が著しく増えれば一定のC.E.C.の値に近づく。この値はほぼイライトのC.E.C.になる。

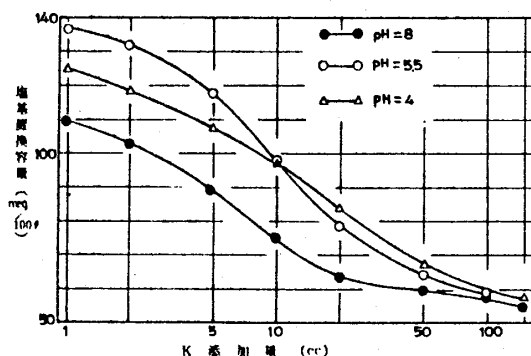


図-9 K添加量と塩基置換容量

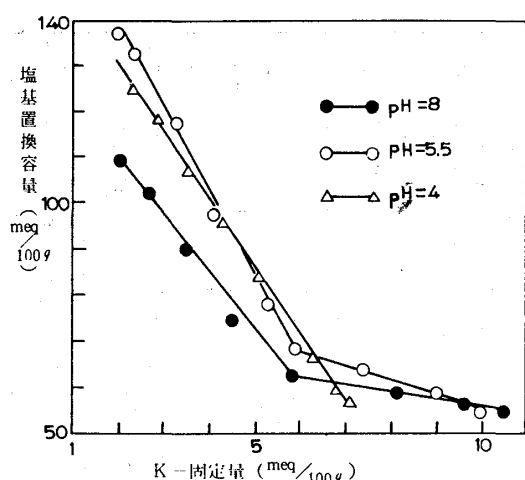


図-10 K-固定量と塩基置換容量

図-10はK-固定量とC.E.C.の関係を示しているが、K-固定量が5~6 meq/100gに達するまでは、C.E.C.はほぼ直線的に減少し、それ以後は減少率が小さくなる。このことから、原試料のC.E.C.の4~5%以上Kが固定されると、C.E.C.の減少はなくなることが明らかになった。

#### 4.2 K-固定による粘土構造の変化

粘土鉱物の構造の変化を調べる方法はX線回析と示差熱分析とがある。それぞれの試験に用いた試料はpH未調整のモンモリロナイトを0.2 NのKCl溶液150ccで処理し、過剰のK<sup>+</sup>を洗浄した後に、気乾した状態のK-固定土を用いた。図-11はX線回析結果であるが、K-固

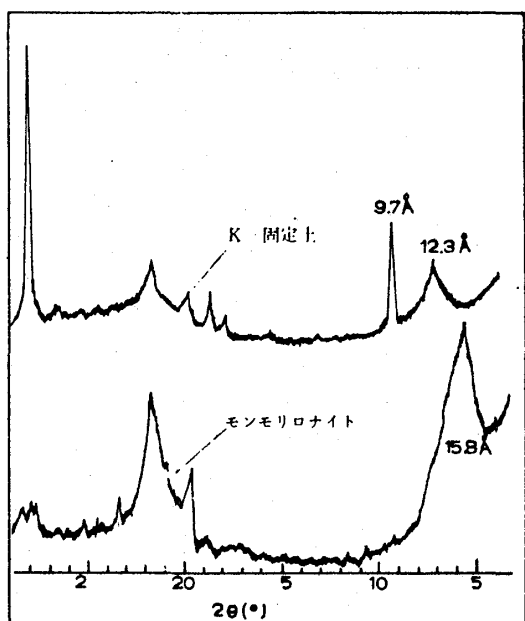


図-11 X線回析結果

定土はモンモリロナイトの(001)面のピークがずれて、層間隔が12.3 Å (層間に1分子の水分子を含んだ状態)に縮小すると共に、9.7 Åのイライイトに近い構造の粘土鉱物ができている。また、(001)面のピークが非常に小さくなっていることから、モンモリロナイトの含有量の減少と共に、イライイトに近い粘土鉱物の生成があったと理解できる。

種々のカオチンで飽和されたモンモリロナイトの気乾状態と湿潤状態での層間隔はBarshad<sup>(14)</sup>の研究があるが、筆者のデータと合わせて表-2に示す。

表-2 吸着イオンの種類と水浸によるモンモリロナイトの層間隔の変化(Å)

処理法	吸 着 イ オ ン							
	Mg	Ca	Ba	H	Li	Na	K	NH <sub>4</sub>
気 乾	14.8	15.1	12.9	14.5	13.4	12.2	12.3	12.1
水 浸	20.7	17.9	18.5	19.3	18-23	18-24	13.2	13.2

この表に示すように、固定反応に関与するイオンは気乾・湿潤に関係なく、層間隔の変化のないのが特徴である。

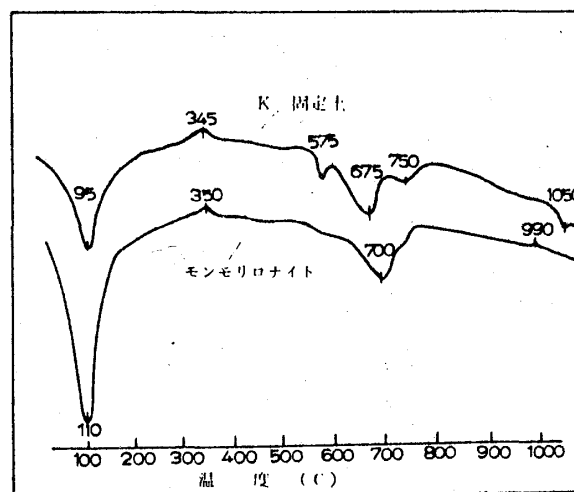


図-12 示差熱分析結果

図-12は示差熱分析の結果であり、K-固定土では、モンモリロナイト特有の680℃付近のOHの形の結晶水の脱水による吸熱ピークが小さくなり、イライイト系粘土特有の550℃付近の脱水・吸熱ピークが新たに生じている。さらに層間の吸着水は110℃付近のピークの大きさからみて、K-固定土は減少している。

塩基置換容量、X線的特性および熱的特性などからみて、モンモリロナイトのK-固定は、界面化学的、構造的さらに熱的にも、モンモリロナイト粘土鉱物のイライイトに近い粘土鉱物への変質と考えられる。

### 5. 工学的諸特性の変化

前章までに明らかなように、K-固定によるモンモリロナイトの物理化学的特性の変化には著しいものがある。これが工学的な特性にどのように影響するかを以下に実験的に示す。

K-固定土は最大の固定量を示した塩として、1Nの $K_2SO_4$ で処理したものを用い、試料の間げきに存在する過剰のKイオンはメチルアルコールで洗浄した。

#### 5.1 粒度特性

粒度加積曲線を図-13に示したが、K-固定により、細粒部(2 $\mu$ 以下)が顕著な減少を示している。

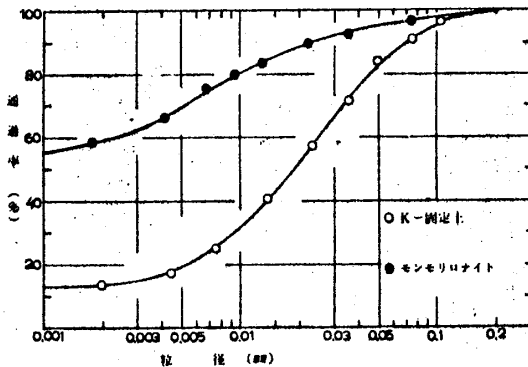


図-13 粒度分布

示している。これは吸着Kイオンにより、粘土粒子間の電位が低下し、粒子間の反発力が弱まり、粒子が集合体を形成したことと、粘土粒子個々の層間にKイオンが固定されたことによって、固結・団粒構造化したものと考えられる。なお分散剤としてはピロリン酸ナトリウムを使用した。

#### 5.2 膨潤特性

図-14は膨潤量と塩濃度の関係を示している。この試験は100ccの各種濃度の塩溶液を入れたメスシリンダー中に、5分ごとに10mgずつ合計2gの試料を投入し、24時間後の体積を測定し、その値を膨潤量としたものである。K-固定土は溶液濃度の如何にかかわらず一定

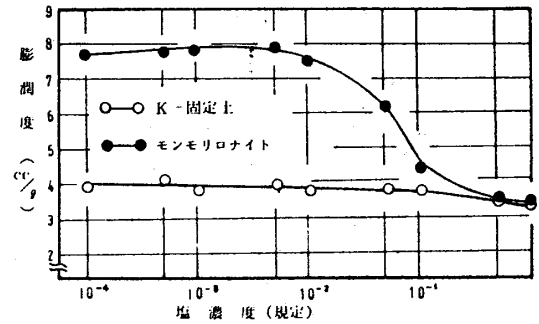


図-14 膨潤度と塩濃度

の膨潤量を示しており、未処理の場合はその影響は極めて大である。また、蒸留水中で行った結果では、未処理11.2cc/gに対し、K-固定土4.2cc/gとK-固定による膨潤抑制効果は著しい。

#### 5.3 アッターベルグ限界

試料土のアッターベルグ限界を表-3に示したが、K-固定土は未処理に比較して非常に小さい。これは粒度分布から明らかなように、細粒土の含有量の差異にもとづくものと考えられる。

表-3 アッターベルグ限界(%)

試料	L.L.	P.L.	P.I.
未処理土	243	31	212
K-固定土	79	39	40

#### 5.4 締め固めおよび一軸圧縮強度

ハーバード型小型突固め試験による結果を図-15に示す。最適含水比はK-固定土で34%、未処理土で40%、最大乾燥密度はそれぞれ、1.29、1.16g/cm<sup>3</sup>である。締め固め曲線の

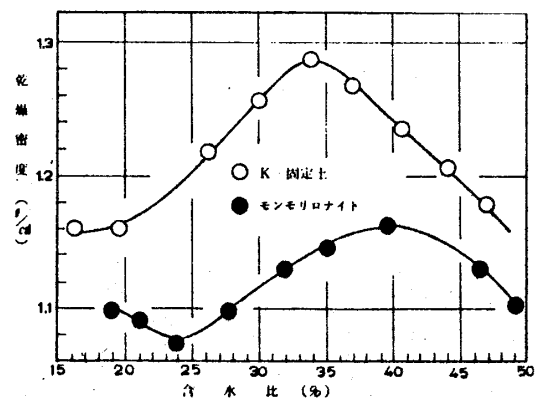


図-15 締め固め曲線



形は粗粒部が増大すると、左上方に上るとともにピークが急峻になるが、K-固定土はこの面からも、団粒・固結化していることが明らかである。

また、未処理土の低含水比領域における極小値は、Procterの毛管説によると、粒子のすべての接触点でメニスカスが形成される点である。したがって、A-B間にはたわみにくいメニスカスが形成され、有効応力が増加し、乾燥密度が減少する区間であると説明される。K-固定土の極小値は未処理土よりさらに低い含水比で表われると予測でき、メニスカスの形成に要する水分が少量で良いことから、比表面積の減少を証している。

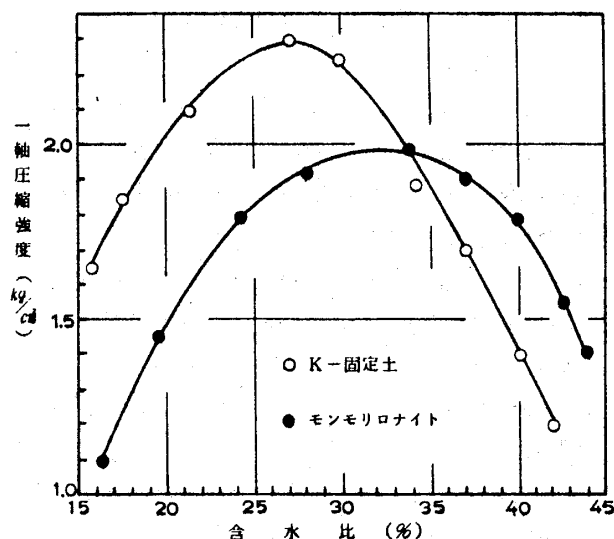


図-16 一軸圧縮強度

一軸圧縮強度の関係でも、上記と同様のことがいえる。K-固定土では曲線の形がシャープに、未処理土では、ブロードに出ている。また、応力-ひずみ関係は、K-固定土の場合、ピーク強度が高く、残留強度が非常に小さく出た。一方、未処理土の場合、ピーク強度と残留強度にあまり差異がなかった。結局、K-固定土は材料強度特性として、強度が増大すると共に、比較的ブリッキーなものとなる事を示している。

### 5.5 圧密および透水性

圧密試験のための試料は、K-固定土と未処理土のどちらも液性限界付近の含水比に調整したのをを用いた。K-固定土の透水係数は、未処理土と比較して、どの荷重段階においても、オー

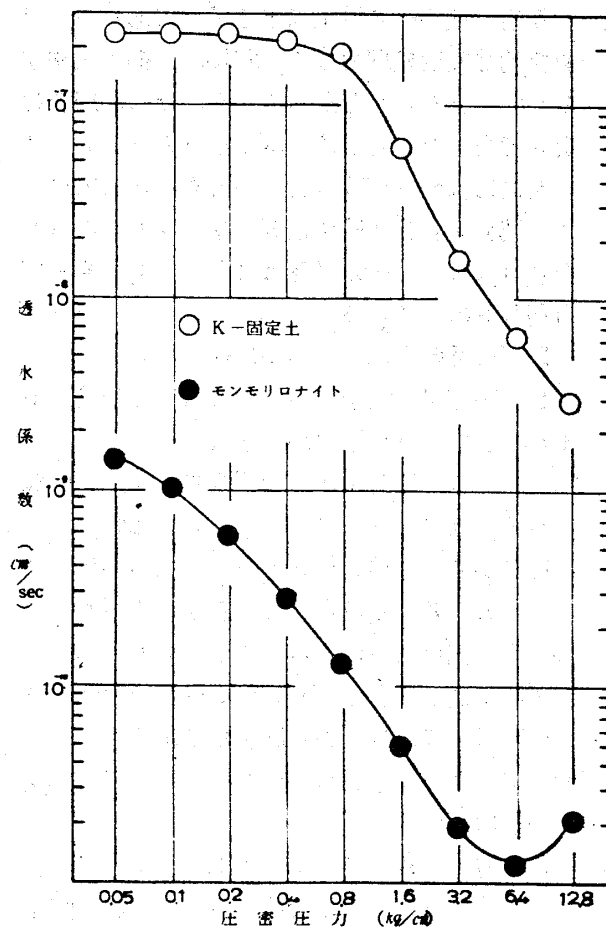


図-17 透水係数と圧密圧力

ダーで3段階大である。このことから、K-固定による土質安定では、液性限界付近の含水比での土性改良効果が最も著しいといえる。また、K-固定土においては、圧密荷重が0.8 kg/cm²から透水係数の変化率が急になっている。これは飽和吸着Kイオンによる団粒効果がこの荷重段階で破壊されることを示している。

また、ここには示さなかったが、 $e - \log P$ 曲線から判断して、K-固定土が100%圧密に達するのが早いことと、顕著な結合力破壊を示す変曲点が表れないことにより、初期配向構造であると推定できる。一方、未処理土は、100%圧密に96時間も要し、結合力の破壊もみられることから、初期綿毛構造であったと考えられる。

### 6. 結 言

モンモリロナイトを含む土の土質安定工法と工学的な材料として利用する方法として、K-固定法を示してきた。従来から、膨張性頁岩

や泥岩、地すべり粘土などを扱うにあたっては、直接的な安定処理でなく、間接的な抑止工法が採られてきた。したがって、そのための経費は莫大であった。しかるに本工法はカリウムイオンを含む塩類（市販されているものとしては、カリ肥料および凍結防止剤）を注入もしくは混合すればよく、その経費は著しく少く、極めて有利なものとする。

以下に要約を示し、結論に代える。

K-固定量の大小については各種の影響があるが、次のような結果が得られた。

- (1) K-固定は含水比の影響を受けるが、乾燥が不可欠の条件ではない。これには時間的な影響があり、湿潤状態であっても長期にわたってK-処理すると、K-固定がみられた。
- (2) K-固定量を増大させるのに最も経済的なK添加量が存在し、それは対称粘土の塩基置換容量にほぼ等しいK添加量である。
- (3) アルカリ状態でKを処理すると、K-固定量が増大する。
- (4) 事前に吸着しているカオチンに関しては、H, K,  $\text{NH}_4$  の吸着量が多いと、K-固定量が減少し、CaとNaが多いと増大する。
- (5) アニオンの影響は、 $\text{SO}_4^{-2} > \text{CO}_3^{-2} > \text{Cl}^-$  の順に固定量が増す。

K-固定による物理化学的特性の変化は、

- (1) 試料土の塩基置換容量を著しく減少させる。
- (2) モンモリロナイトの層間隔が、乾湿によって変化せず、常に水を1分子含んだ状態の12.3Åになる。
- (3) X線回析を行うと、9.3Å付近のイライトに近い構造のピークが表れる。
- (4) 熱的な性質では、100℃付近の吸熱ピークが減少するとともに、モンモリロナイト特有の680℃付近のOHの形の結晶水の脱水による吸熱ピークが小になり、イライト系粘土の550℃付近のOHの脱水・吸熱ピークが新たに生じる。

K-固定による工学的特性の変化は、

- (1) 粒度特性の著しい変化がみられ、2μ以下の粘土分が異常に減少する。
- (2) 膨潤特性は未処理の約 $\frac{1}{3}$ で塩濃度の影響をほとんど受けない。
- (3) アッターベルグ限界は、L.Lの減少が著し

く、未処理の約 $\frac{1}{3}$ になる。

- (4) 最適含水比が減少し、最大乾燥密度が増大する。
- (5) 一軸圧縮強度が大になるとともに、ブリッキーマーな材料になる。
- (6) 透水係数は未処理に比べて、オーダで3段階大になる。

以上のように、K-固定によるモンモリロナイトの変化は、粘土鉱物学的には、イライトに近い粘土鉱物の生成であり、工学的には、固結・団粒による土性改良につきる。

# 《参 考 文 献》

- (1) 松尾新一郎監訳「風化—その理論と実態」ラテイス社 P.P.93~95, 1971
- (2) 森田修二「土壌学汎論」養賢堂P.P. 320~321, 1965
- (3) Volk, N. J. "The formation of muscovite in soils and refinements in specific gravity separations of minerals", Am. J. Sci., 26, P.P.114~129, 1933
- (4) Volk, N. J. "The fixation of potash in difficulty available in soils" Soil Sci., 37, P.P.267~287, 1934
- (5) Chaminade, R., Ann. Agron., 6, 818, 1936
- (6) Truog, E., and J. R. Jones, Indus. and Engineering Chem., 30, 882, 1938
- (7) Kolodny, L., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 3, 107, 1938
- (8) Page, J. B., and L. D. Baver, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 4, 150, 1940
- (9) Stanford, G. and Pierre, W. H., Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11, P.P.155~159, 1947
- (10) Deturk, E. E., Wood, L. K. and Bray, R. H., Soil Sci. Soc. Am. Proc. 3, P.P. 101~103, 1938
- (11) Martin
- (12) Wiklander
- (13) Marshall, C. E., Ztschr. Krist., 91, P.P. 433~449, 1935
- (14) Barshad, I., Amer. Mineralogist, 35, 225, 1950